

⑩ 日本国特許庁 (JP) ⑪ 特許出願公開
 ⑫ 公開特許公報 (A) 平3-239902

⑤Int.Cl.⁵

G 01 B 11/00
 G 06 F 11/08
 15/62
 15/70

識別記号

D
 H
 H
 4 0 0
 3 3 0

府内整理番号

7625-2F
 7625-2F
 7625-2F
 8419-5B
 9071-5B

④公開 平成3年(1991)10月25日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全9頁)

⑥発明の名称 円形状抽出装置

⑦特 願 平2-36226

⑧出 願 平2(1990)2月19日

⑨発明者 農宗千典 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社
 内

⑩出願人 日産自動車株式会社 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

⑪代理人 弁理士三好秀和 外1名

明細書

1. 発明の名称

円形状抽出装置

2. 特許請求の範囲

(1) 円形状物を濃淡の画像として入力し該画像の濃淡境界のすべてのエッジ点を抽出し、該エッジ点のうちのある2点における角度θの傾き直線の交点の座標と該2点の座標との間の距離を算出して両距離が略等しくなるとき前記交点を円の中心画像として抽出して次のエッジ点に移行し、他のエッジ点について同様の抽出を行うことにより前記円形状物の中心及び半径を推定することを特徴とする円形状物抽出装置。

3. 発明の詳細な説明

[発明の目的]

(産業上の利用分野)

本発明は、円および円形状の中心点を抽出する手法に関し、特に、産業用ロボットなどに併設接続されたカメラから円および円形状の輪郭を有する製造対象物の画像を入力し、その画像をコン

ピュータにより処理して、その円および円形状の中心点を抽出し該ロボットなどへの指示に利用できる手法装置に関するものである。

(従来の技術)

最近、人間と同じ視覚を持つカメラを産業用ロボットと併設接続し、加工組立等の製造対象物の形状や位置などを認知・計測させ、柔軟性のある加工組立作業を可能としたいわゆる人口知能を有する産業用ロボットが、人間の作業の代行機械として生産工程に多數採用されている。ところで、このような生産工程の中の産業ロボットカメラに入力する製造対象物の視覚画像の情報処理方法としては、2値画像処理方法が広く用いられている。(例えば、特開昭62-34004号公報参照)

この2値画像処理方法は、以下に記述するような方法である。第6図(a)に示すようにカメラ1によって例えば被加工物2を写し、この画像をコンピュータに入力し、入力されたこの画像をx軸方向にM個、y軸方向にN個の画像に分解する。この結果、被加工物は、第6図(b)に示すように、画素

$3 \times M \times N$ 個の集合した平面座標で、斜線を付した図形として表示できる。つぎに、画素 3 の濃度値とその濃度値に対する画素 3 の数のヒストグラムを求める同時にコンピュータ処理すると、第 6 図(C)に示すように背景に相当するピークと被加工物 2 に相当するピークとが現われる。この二つのピークの間の谷のところの濃度値を閾値 t として画像処理の基準濃度とする。各画素ごとにこの閾値 t より濃度が大きいか小さいかを判別して、もし、大きければ画素 3 に対応するメモリを 1 に、小さければメモリを 0 にセットする。すなわち、2 値画像処理とは、被加工物の各画素ごとの濃度値が閾値 t よりも大きいか小さいかによって各画素に対応したメモリを 1 か 0 にセットする画像処理法である。

以上に説明したような 2 値画像処理を用いて被加工物の円の中心を抽出する従来の円の中心抽出手法としては、一般化 Hough 变換による第 7 図～第 10 図に示すような方法がある。第 7 図は、円中心抽出装置のブロック図である。まず、構成

(x_i, y_i) を設定し、この $A(x_i, y_i)$ を通る接線 S および接線 S と直交する直線（法線） i さらにこの直線 i の方向を示す角度 θ_i を算出する。つぎに、第 8 図(b)に示すように、原画像 $A(x, y)$ の $A(x_i, y_i)$ に 3×3 の空間フィルタをかけ、各画素ごとに縦方向の一次微分値 Δy_i と横方向の一次微分値 Δx_i および $\theta_i = \tan^{-1} \Delta y_i / \Delta x_i$ を求める。なお、第 8 図(b)で空間フィルタをかけられた各画素は、 $a = A(x_i - 1, y_i - 1)$, $b = A(x_i, y_i - 1)$, $c = A(x_i + 1, y_i - 1)$, $d = A(x_i - 1, y_i + 1)$, $e = A(x_i, y_i + 1)$, $f = A(x_i + 1, y_i + 1)$ で示され、 $\Delta x_i = a + b + c - d - e - f$, $\Delta y_i = a + b + c - g - h - k$, $\theta_i = \tan^{-1} \Delta y_i / \Delta x_i$ として表わされる。

この結果、 θ_i は、 $A(x_i, y_i)$ における画素 3 の濃度勾配の方向を表わすとともに、例えば、 $A(x_i, y_i)$ が画像エッジ（即ち濃度の境界）点上に存在した場合には、画像エッジ方向に対し直交する方向を示すこととなる。したがって、画像エッジ点が円の円周上に存在すれば、 A

を説明する。一部重複説明することになるが、被加工物 2 を撮像するカメラ 1 と撮像された画像を 2 値画像処理して各画素ごとの光度レベルすなわち濃度値に変換し、かつ、デジタル信号データとしてホストコンピュータ 5 に転送、あるいは、円の中心を算出、または、モニタ 6 に画像データを出力したりする画像処理装置 4 と画像処理装置 4 からの受信データを計算処理し、制御信号として画像処理装置 4 に送信したり、あるいは、外部に出力部 7 から出力したりするホストコンピュータ 5 より構成されている。

つぎに、この従来の画像処理法の作用について第 8 図～第 10 図をも参照して説明する。

カメラ 1 から円形輪郭線や直線を含んだ被加工物の映像すなわち原画像 $A(x, y)$ が、画像処理装置 4 に入力されると 2 値画像処理により画素 3 に分解され輪郭線が算出される。例えば、算出された輪郭線が円であったと仮定すると第 8 図(a)に示すように、 x , y 軸の平面座標上に表示できる。そこで輪郭線上に任意の一点すなわち $A(x_i, y_i)$

(x_i, y_i) を通る角度 θ_i の直線 i は、円の中心 $C(x_c, y_c)$ を通ることとなる。ここで、半径 r が一定で既知であるならば、 $A(x_i, y_i)$ および角度 θ_i より $C(x_c, y_c)$ は

$$\begin{aligned} x_c &= x_i + r \sin \theta_i \\ y_c &= y_i - r \cos \theta_i \end{aligned}$$

の式により中心候補点として求められる。このようにして Δx , Δy がある値（別に定める）すなわち閾値 T_h 以上の時、 $A(x_i, y_i)$ は画像エッジ点であると判断して、前もってクリアされた画像 $B(x, y)$ に $C(x_c, y_c)$ の点を記録する。このような処理を原画像 $A(x, y)$ の画面全体にわたって行なうと画像 $B(x, y)$ には、円の中心付近に中心候補点が最も多く集まり大きな値（理想的には円周上に画素の個数）を持つ画像が得られ、この値の中心点を求める円の中心点として抽出することができる。また、この画像 $B(x, y)$ を 2 値画像処理による別に定める一定の閾値 t により 2 値化すれば、円が抽出できる。この処理方法は、一部が欠けた円の抽出に非

常に有効な方法である。

第9図にこの従来例のフローチャートを示す。

STEP 1 まず、プログラムがスタートするとカメラ1から円形輪郭線や直線を含んだ被加工物2の映像すなわち原画像A(x, y)が入力される。この際、原画像A(x, y)は、2値画像処理法により画素3に分解され、円形輪郭線や直線も画像3の濃度差に変換算出される。

STEP 2 つぎに、各画素3ごとに縦方向の一次微分値 Δy_i と横方向の一次微分値 Δx_i および角度 $\theta_i = \tan^{-1} \Delta y_i / \Delta x_i$ を求め $\Delta x_i, \Delta y_i, \theta_i$ の画像を作成する。

STEP 3 画像B(x, y)に記録されていた前段階の画像を消去(クリア)して画像B(x, y)にする。

STEP 4 STEP 2で得られた $\Delta x_i, \Delta y_i, \theta_i$ の画像を走査しながら、 $| \Delta x_i | + | \Delta y_i | > \text{閾値} Th$ であるならば、B(x, y)にC(x., y.)の点の座標 $x_+ - x_i + r \sin \theta_i, y_+ - y_i - r \cos \theta_i$ を順次記録して画像

B(x, y)を完成させる。

第10図は、第9図のフローチャートを図で示したもので、(a)図の原画A(x, y)から Δx の(b)図、 Δy の(c)図を得て、最後に例えば原画中の像101, 102及び103を(d)図の画像B(x, y)において円の中心候補画像として101', 102'および103'を得るようにして、順次記録される経過を表わす。

このようにして、画像中の円の中心位置が求めれば半径が既知故に円が抽出でき円成分の位置が正しく認識され、これによりロボット等に正しい作業指示を与えることが可能となるものである。

(発明が解決しようとする課題)

しかしながら、このような従来の円の中心抽出手法にあっては、被加工物など対象物の濃淡画像から輪郭線画像を算出し、この輪郭線画像上に任意の一点を定め、この点を通る接線と法線を求め、これと外部より指定入力される円の半径の値を情報として順次輪郭線全周にわたって処理、記憶させ、円の中心候補点の最密集点を指定半径の

円の中心とする手法を採用していたため、求まる円の半径が既知であることが必要であるという問題点があった。また、画像中で異なる半径の円を誤って抽出する危険性および直線やます目状の形状もノイズとして抽出するため、これらが含まれた複雑な形状では抽出率が低下する等の問題点があった。

この発明は、このような従来の問題点に着目し半径が既知でなくとも、また複雑な形状を円として誤った推定をすることない円形状抽出装置を提供し、もって前記問題点を解決することを目的としている。

[発明の構成]

(課題を解決するための手段)

この発明は、前記目的を達成するため、円形状物を濃淡の画像として入力し該画像の濃淡境界のすべてのエッジ点を抽出し、該エッジ点のうちのある2点における角度 θ の傾き直線の交点の座標と該2点の座標との間の距離を算出して両距離が略等しくなるとき前記交点を円の中心画像とし

て抽出して次のエッジ点に移行し、他のエッジ点について同様の抽出を行うことにより前記円形状物の中心及び半径を推定することを特徴とするものである。

(作用)

エッジ点2点の角度 θ の傾き直線はその点の法線であり、もし2点が円周上にあれば両法線の交点は円の中心となり、交点と当該エッジ点の距離は半径となる。従って、円周上の2点を選んだときのみ中心画像候補として記録されインクリメントして次に移行するので、誤った推定をすることはない。しかも半径が既知でなくとも中心が抽出されるので、便利であり、又、この半径も算出推定されるので極めて便利である。

(実施例)

以下、この発明の一実施例を第1図～第5図に基づいて説明する。第1図は、この発明による円形状抽出装置の一実施例を示すブロック図である。まず構成を説明すると、被加工物2を撮像するカメラ1と撮像された画像と2値画像処理して

各画像ごとの濃淡画像として濃度値に変換し、デジタル信号のデータとしてホストコンピュータ5に転送、あるいは円の中心を算出し、またはモニタ6に画像データを出力したりする画像処理装置4と両像処理装置4からの受信データを計算処理し、制御信号として画像処理装置4に送信したり、あるいは、外部に出力部7から出力したりするホストコンピュータ5より構成されている。

つぎに、前記画像処理の基本的作用を第2図及び第3図を参照しつつ説明する。

カメラ1から円形輪郭線や直線を含んだ例えは被加工物の映像すなわち原画像A(x, y)が入力されると2値画像処理により複数個の画素に分解され輪郭線が算出される。算出された輪郭線が円であったと仮定すると第2図に示すようにx軸、y軸の平面座標上に表示できる。ここで、輪郭線上に任意の2点をD(x_i, y_i)とE(x_j, y_j)と定め、それぞれ△x, △yの一次微分値の大きさがある値(別に定める)すなわち閾値T_h以上あるとするとこの2点D(x_i, y_i)と

E(x_j, y_j)は、画像エッジ点(濃淡境界点)であると判断される。輪郭線上の他のすべての点も上述のようにしてエッジ点と判断されているとする。次にD(x_i, y_i), E(x_j, y_j)を通り画像エッジ方向と直交する方向を示す角度θ_iと角度θ_jをそれぞれ算出する。つぎに、△x, △yこれらを算出結果から、D(x_i, y_i)を通り角度θ_iを有する直線iとE(x_j, y_j)を通り角度θ_jを有する直線jとは、円の内側で交わる交点すなわちF(x_o, y_o)を定めることができる。さらに、D(x_i, y_i)とF(x_o, y_o)との距離r_i, E(x_j, y_j)とF(x_o, y_o)との距離r_jとすると交点すなわちF(x_o, y_o)の座標は、それぞれ

$$\begin{aligned} x_0 &= x_i + r_i \sin \theta_i \\ y_0 &= y_i - r_i \cos \theta_i \\ x_o &= x_j + r_j \sin \theta_j \\ y_o &= y_j - r_j \cos \theta_j \end{aligned}$$

で表わすことができる。この式よりD(x_i, y_i)とF(x_o, y_o)との距離r_iとE(x_j, y_j)

$$\begin{aligned} y_i) \text{ と } F(x_o, y_o) \text{ の距離 } r_i \text{ は、} \\ x_o &= (y_i - y_o + x_i \cot \theta_i - x_o \cot \\ \theta_i) / (\cot \theta_i - \cot \theta_j) \\ y_o &= (x_i - x_o + y_i \tan \theta_i - y_o \tan \\ \theta_i) / (\tan \theta_i - \tan \theta_j) \\ r_i &= (-x_i + x_o + (y_i - y_o) \tan \\ \theta_i) / (\sin \theta_i - \cos \theta_i \cdot \tan \\ \theta_i) \\ r_j &= (x_i - x_o + (y_i - y_o) \tan \\ \theta_i) / (\sin \theta_i - \cos \theta_i \cdot \tan \\ \theta_i) \end{aligned}$$

として求まる。ここでもしD(x_i, y_i) E(x_j, y_j)とが同一周上に存在するとすれば、
r_i = r_j = 半径

となる。したがって、輪郭線上の任意の2点を一組としてインクリメントし次々と輪郭線の全周について上部の計算を行ないその結果がr_iの値をとる時のみF(x_o, y_o)を円の中心候補点とすることができる。このようにして算出されたF(x_o, y_o)を前もってクリアされた画

像G(x, y)に記録する。

第3図にフローチャートを示す。

SET P 1 まず、プログラムがスタートするとカメラ1から円形輪郭線や直線を含んだ被加工物の映像すなわち原画像A(x, y)が入力される。この際、原画像A(x, y)は、2値画像処理法により数画素に分解され、円形輪郭線や直線も画像の濃淡画像に変換され数値化される。つぎに、分解された画素の各画素ごとに横方向の一次微分値△x_i、縦方向の一次微分値△y_iとtan⁻¹△y_i/△x_iから角度θ_iを求める。これと同時に、各画素ごとの|△x_i|+|△y_i|を計算し、この値がある一定の値(別に定める)すなわち閾値T_hより大きい時、この値を持った座標(x_i, y_i)は、画像エッジ点であると判断され、この座標のx_i, y_i, θ_iがテーブルに格納される。このテーブルには例えばx₁, y₁, θ₁, x₂, y₂, θ₂, x₃, y₃, θ₃, ..., x_n, y_n, θ_nのように各画素ごとの算出値をグループとして格納する。

STEP 3 画像 A (x, y) に記録されている前段階の画像を消去(クリア)して画像 G (x, y) にする。

STEP 4 STEP 2で格納されたテーブルから $i = 1 \sim N$ のデータを取り出す。

STEP 5 STEP 2で格納されたテーブルから $j = 1 \sim N$ のデータを取り出す。

STEP 6 STEP 4 および STEP 5 のデータのすべての組合せを作成し、例えば、STEP 4 の画像エッジ点 (x_i, y_i, θ_i) と STEP 5 の画像エッジ点 (x_j, y_j, θ_j) から、交点の座標 x_{ij}, y_{ij} 、交点の座標 x_{ij}, y_{ij} から画像エッジ点 (x_i, y_i) までの距離 r_{ij} 、交点の座標 x_{ij}, y_{ij} から画像エッジ点 (x_j, y_j) までの距離 r_{ji} を求める。

STEP 7 STEP 6 で算出された距離 r_{ij} と距離 r_{ji} を比較し、 $r_{ij} / r_{ji} \approx 1$ の時は、次のステップに進む。フローチャートでは $i = 1$ および $i = 2$ の例を示す。

STEP 8 STEP 7 で比較された r_{ij} の大

集した密度の高いピーク値を有する画像となり、このピーク値の中心点を求める円の中心点として抽出することができる。

なお、第3図のフローチャートでは、輪郭線上に任意の2点を設定し、2点の組み合せを輪郭線全周にわたって計算処理する方法で説明したが、角度 θ_i と角度 θ_j の差が $0^\circ, 180^\circ$ の組み合せは、距離 r_{ij} と距離 r_{ji} の精度が低いので削除したほうがよい。また、 $|\theta_i - \theta_j|$ が、 90° または 60° とかのようにあるきまつた角度差のみで計算してもよい。この場合は、組み合せ数が減るため演算時間が短くなる。さらに、 $|\theta_i - \theta_j|$ が 90° の時、すなわち直角コーナを持った图形では、直線に対し 45° の方向に円の中心候補点が現われるため $40^\circ \sim 80^\circ$ 程度の差を有する点の組み合せで算出するとよい。

さらに、第4図に、本発明に基づく円形状抽出装置を用いて、車両のホイール・ハブにタイヤホイールをロボット等によって組み付ける実施例の側面図を示し、第5図に該組み付け実施例のフロ

きさがある範囲内 (R_{min} と R_{max} で別に定める) にあれば、画像エッジ点 (x_i, y_i), (y_i, y_i) は、同一の円周上に存在すると判断する。フローチャートでは、 r_{ij} の例を示す。

STEP 9 求められた交点座標 (x_{ij}, y_{ij}) を、円の中心候補点として画像 G (x, y) に記録する。

STEP 10 STEP 2で格納されたテーブルから次の j 、例えば $j = 3$ を取り出し STEP 6 に戻る。

STEP 11 STEP 2で格納されたテーブルから次の i 、例えば、 $i = 3$ を取り出し STEP 5 に戻る。

なお、STEP 10 と STEP 11 は、STEP 0 に格納したデータのすべての組み合せが終了するまで繰り返される。

END テーブルに格納されたデータのすべての組み合せが処理されるとプログラムが終了する。このプログラム処理の結果、画像 G (x, y) は、円の中心候補領域に円の中心候補点がもっとも密

一チャートを示す。

第4図において、ボルト位置 12 にボルトが取り付けられるホイール・ハブ 10 は、車軸 11 を経てスプリング 9 を介して車体 8 に連結されるよう構成されている。ここで、車体 8 と大略平行に取り付けられているホイール・ハブ 10 は、通常、円形に製作されその表面にはいくつかの同心円形状の物体が存在する事が認められる。このようなホイール・ハブ 10 をカメラ 1 が撮像してその画像が前述のように画像処理装置に入力される。入力された画像を処理してホイール・ハブ 10 の外周をはさむ大略の半径 R の円の中心を抽出する。ここで、ホイール・ハブ 10 の半径を内側までの距離 T_1 と外側までの距離 T_2 ($100 \sim 200$ mm) の間にあるものとする。このようにして抽出された中心点の座標を H (x, y) とする。この時、ホイール・ハブ 10 の表面の同心円の中心は、すべてこの抽出された円の中心点 H (x, y) と一致するため、また、円の半径 R が比較的大きいため、中心点算出に必要な画像エッジ点

の数も多く精度高く抽出できる。つぎに、ホイール・ハブ10の上のボルト位置12を算出する。算出された中心座標I_i(x_i, y_i), i=1~P(P=求められた中心点の個数、図では5個)とする。ここでボルト位置12のボルト又は穴の半径rすなわち近似のT_i(T_i=5~10mm位)の円抽出をするが、求める半径が小さいため、ボルト位置ばかりでなく他のいくつかのノイズも抽出する可能性があり注意しなければならない。

さらに、先に算出されたホイール・ハブの中心点H(x₀, y₀)と各ボルト位置の中心座標I_i(x_i, y_i)との距離d_iを

$d_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}$

で求め、この距離d_iと定められた定数T_i(ハブの中心点からボルトの中心点までの距離)とが、大略等しい時、中心座標I_i(x_i, y_i)をボルト位置12と判断する。なお、ボルト位置12は、1ヶ所計測できればタイヤの組み付けが可能である。すなわち、ホイール・ハブ10の中心点H(x₀, y₀)とボルト位置12の中心座標I_i(x_i, y_i)との距離d_iを算出し、d_i例T_iの時、中心座標I_i(x_i, y_i)をボルト位置12と判断し、この中心座標I_i(x_i, y_i)とH(x₀, y₀)との角度θを求める。

STEP 5 タイヤホイールを中心点H(x₀, y₀), 角度θに合わせて組み付ける。

END タイヤホイールの組み付けが終了するとプログラムも終了する。

なお、本発明で説明した座標x, y等は、画像処理装置での座標系であり、例えば、上記に説明したホイール・ハブへのタイヤホイールの組み付けは、実座標系へ変換(変換式は広く知られているので省略)して行なう必要がある。

〔元請け請求〕
以上説明してきたように、この発明によれば、その構成を円形状物を濃淡の画像として入力し該画像の濃淡境界のすべてのエッジ点を抽出し、該エッジ点のうちのある2点における角度θの傾き直線の交点の座標と該2点の座標との間の距離を算出して両距離が略等しくなるとき前記交点を円の中心画像として抽出して次のエッジ点に移行し、

(x_i, y_i)との角度θを

$\theta = \tan^{-1}(y_i - y_0) / (x_i - x_0)$

で算出し、タイヤホイールを中心点H(x₀, y₀), 角度θだけ傾けて組み付けるようにロボット等に指示すればよいこととなる。

第5図にそのフローチャートを示す。

STEP 1 まず、プログラムがスタートするとカメラからホイール・ハブ10の映像すなわち原画像が入力する。

STEP 2 STEP 1の原画像を画像処理してホイール・ハブ10の外周をはさむ大略の半径RをT₁ < R < T₂(T₁~T₂=100~200mm位)として、ホイール・ハブ10に相当する円の中心を抽出し、中心点H(x₀, y₀)とする。

STEP 3 ホイール・ハブ10の上のボルト位置12に相当する半径rのT_iの円の中心を抽出し中心座標I_i(x_i, y_i) i=1~Pとする。

STEP 4 ボルト位置12の中心座標I_i(x_i, y_i)とSTEP 2で抽出された中心点H

他のエッジ点について同様の抽出を行うことにより前記円形状物の中心及び半径を推定する構成としたため、半径が既知でなくとも円形の抽出ができる、円以外のエッジ構成要素たとえば直線や孤立点などは記録されず円の抽出率も向上し、さらに、半径の異なる円についても一回の処理で済み、また、円の一部の欠けた半円状被加工物の円形の抽出もできるという効果が得られ、極めて有用な円形状抽出装置であるとともにこのような正確で効率のよい円形状抽出装置を提供できるという効果が得られる。

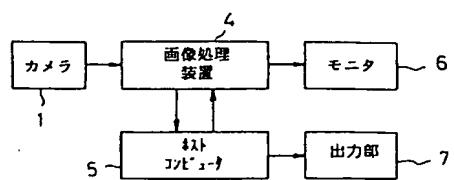
4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明による円形状抽出装置のプロック図、第2図は、円の中心候補点を算出する場合の説明図、第3図は、円の中心候補点を算出するフローチャート、第4図は、ホイール・ハブの円の中心点、ボルトの半径および位置を算出する場合の説明図、第5図は、タイヤホイール取り付けのフローチャート、第6図(a), (b), (c)は、従来の2値画像処理によって中心を算出する場合の説

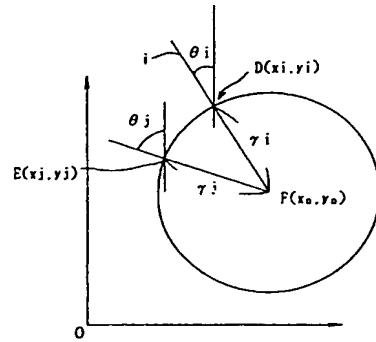
明図、第7図は、従来の円の中心抽出装置のブロック図、第8図(a)、(b)は、従来の円の中心候補点を算出する場合の説明図、第9図は、従来の円の中心候補点を算出するフローチャート、第10図は、原画が画像処理され記録される経過を示す図である。

1 … カメラ、2 … 対象の円形状物、3 … 画素、
 4 … 画像処理装置、5 … ホストコンピュータ、6
 … モニタ、7 … 出力、8 … 車体、9 … スプリング、
 10 … ホイール・ハブ、11 … 車軸、12 … ポルト位置。

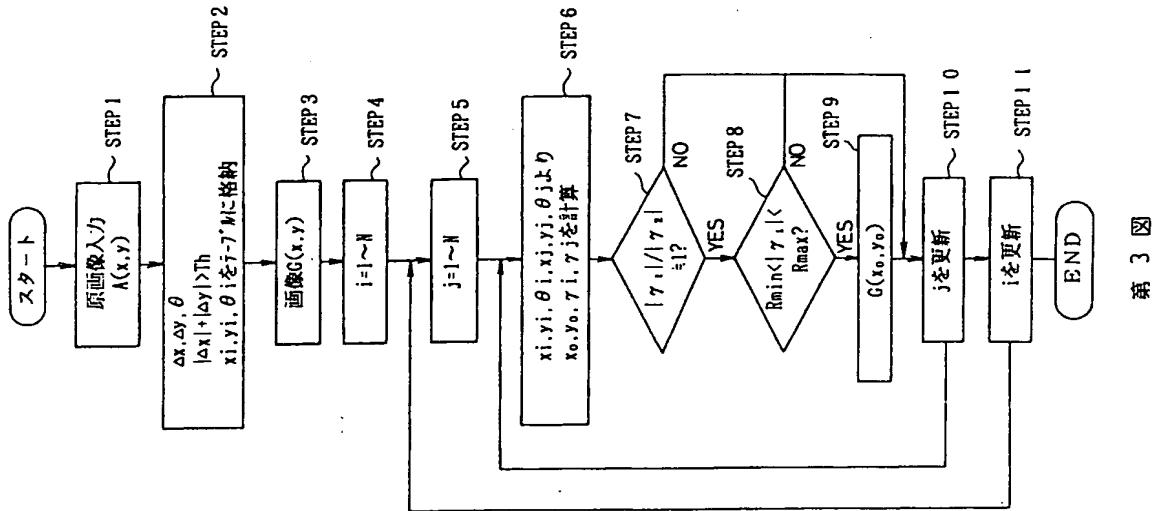
代理人 弁理士 三好 秀和



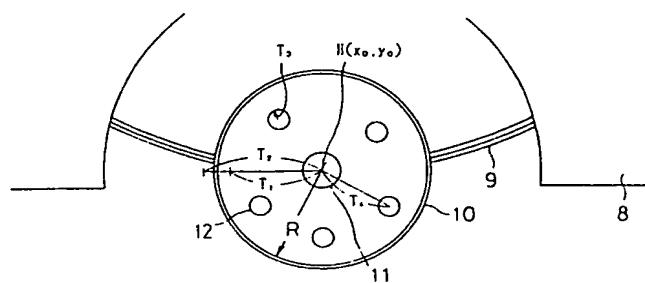
第1図



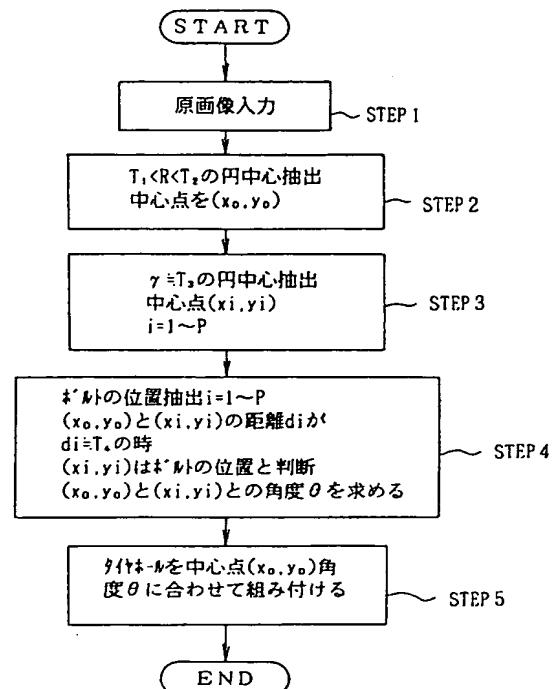
第2図



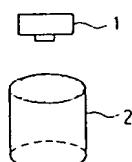
第3図



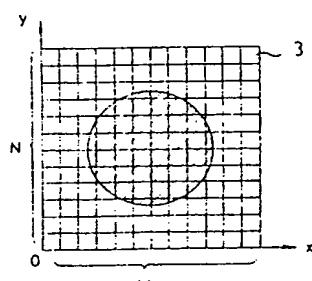
第4図



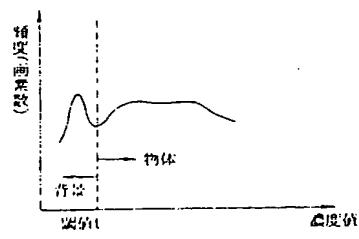
第5図



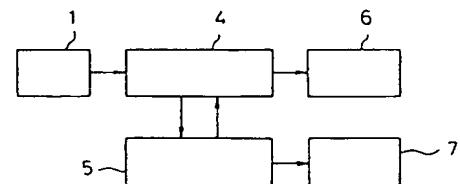
第6図(a)



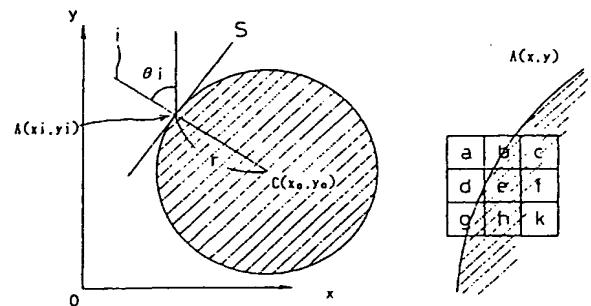
第6図(b)



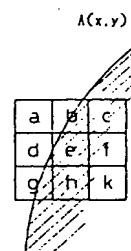
第6図(c)



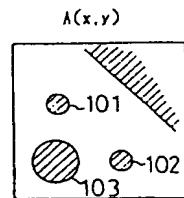
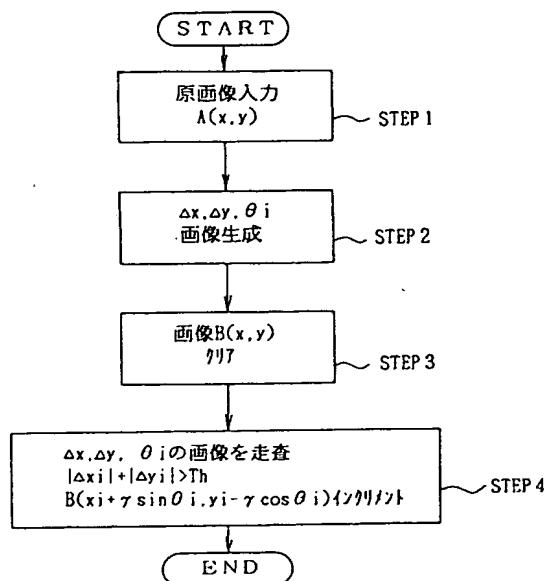
第7図



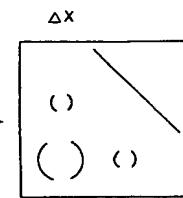
第8図(a)



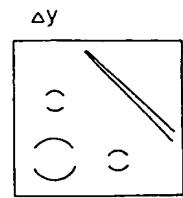
第8図(b)



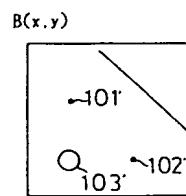
第10図(a)



第10図(b)



第10図(c)



第10図(d)

第9図